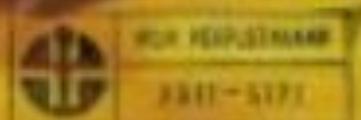


ISSN 1979-3638

Journal of
**Logistics and
Supply Chain Management**

Volume 1, Number 1, February 2008



Published by:

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING, UNIVERSITY OF SURABAYA
and
ASOSIASI LOGISTIK INDONESIA

JUNE 2008

ISSN

1979-3638

Volume 1, No. 1

February 2008

Page 1-100

Journal of
**Logistics and
Supply Chain Management**

Volume 3, Number 2, June 2013

Editorial

Penerapan Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada VRPSDP untuk Kendaraan Berkapasitas Heterogen 61 – 70

· Hendra Soetantyo

Penerapan A New Saving Based Ant Algorithm pada Pengaturan Rute Pengiriman AMDK di UD. Koshindo Tirta Pratama 71 – 85

· Jeffri Hariyanto

Perancangan Model Integrasi Sistem Produksi dan Distribusi Multi Produk dengan Menggunakan Strategi *Vendor Managed Inventory* pada Rantai Pasok Tiga Eselon 86 – 97

· Jessica Alice Karana, **Amelia Santoso** dan Dina Natalia Prayogo

Perancangan Sistem Pengukuran dan Perbaikan *Logistic Performance* di Pabrik Beras Bayeman, Lumajang, Jawa Timur 98 – 108

· Mefilia, Eric Wibisono dan Dina Natalia Prayogo

Pengembangan Model Sistem Dinamis untuk Closed Loop Supply Chain pada Industri Minuman dalam Kemasan Botol Kaca 109 – 120

· Puspa Sari Dewi

Perancangan Model Integrasi Sistem Produksi dan Distribusi Multi Produk dengan Menggunakan Strategi *Vendor Managed Inventory* pada Rantai Pasok Tiga Eselon

Jessica Alice Karana, **Amelia Santoso** dan Dina Natalia Prayogo
Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya
Raya Kalirungkut, Surabaya 60293, Indonesia
E-mail: jessica.karana@gmail.com

Abstrak

Dewasa ini, kompetisi antar perusahaan dalam memenuhi berbagai tuntutan pasar semakin ketat. Untuk dapat bertahan dalam kompetisi, dibutuhkan suatu koordinasi antar pihak dalam sebuah rantai pasok. Salah satu koordinasi yang dapat dilakukan adalah VMI. Pada penelitian ini, strategi VMI diterapkan pada hubungan antara distributor dengan retailer. Selain itu, pada hubungan antara pabrik dan distributor diterapkan strategi joint replenishment dan channel coordination. Dengan demikian tujuan dari penelitian ini adalah merancang model integrasi sistem produksi dan distribusi multi produk dengan menggunakan strategi VMI pada rantai pasok tiga eselon yang mempertimbangkan permintaan probabilistik. Data numerik digunakan untuk membantu dalam perancangan dan analisis model dimana hasil perhitungan menunjukkan bahwa permintaan probabilistik menghasilkan peningkatan total biaya yang paling besar pada eselon yang paling mendekati ketidakpastian yaitu retailer.

Kata Kunci: Model integrasi sistem produksi dan distribusi, rantai pasok tiga eselon, VMI, permintaan probabilistik

Abstract

Recently, the competition between companies in fulfilling the market's demand is getting tighter. To be able to survive, a coordination between parties in a supply chain is necessary. One of the possible coordination is VMI. In this research, the VMI strategy is applied in the relationship between the distributor and the retailers. Moreover, joint replenishment and channel coordination strategies are applied in the relationship between the plant and the distributor. Thus, the goal of this research is to design an integrated model of multi-product production and distribution system using VMI strategy in a three-echelon supply chain that puts probabilistic demands into consideration. Numerical example assists in analysis and design of the model while the calculation result shows that probabilistic demands produce the biggest increase of total cost in the echelon which is closest to uncertainty, retailers.

Keywords: Integrated model of production and distribution system, three echelon supply chain, VMI, probabilistic demand

1. Pendahuluan

Dewasa ini tuntutan dari konsumen semakin banyak antara lain, tingginya kualitas produk, tingkat ketersediaan produk yang cukup, hingga adanya diferensiasi produk [1]. Perusahaan berusaha untuk memenuhi tuntutan-tuntutan tersebut sehingga kompetisi antar perusahaan pun tidak terelakkan. Dalam memenuhi berbagai tuntutan pasar, perusahaan tidak dapat berdiri sendiri, dibutuhkan suatu koordinasi antar pihak dalam sebuah rantai pasok untuk dapat bertahan dalam persaingan yang semakin ketat.

Koordinasi dalam sebuah rantai pasok dapat terjadi pada beberapa eselon. Koordinasi antar 2 (dua) eselon misalnya, dapat dilakukan antara pabrik dengan distributor [2] maupun antara distributor dengan *retailer* [3] dan [4]. Koordinasi yang digambarkan dalam penelitian Chen [2] merupakan koordinasi dalam pemenuhan pesanan dan sistem distribusi. Koordinasi dilakukan dengan

menggunakan konsep *joint replenishment* dan *channel coordination* untuk memenuhi pesanan berbagai jenis produk (*multi item*). Koordinasi yang digambarkan dalam penelitian Darwish [3] dan van der Vlist [4] merupakan koordinasi dalam manajemen persediaan. Penelitian tersebut menerapkan konsep VMI atau *Vendor-Managed Inventory* yaitu sebuah konsep dimana persediaan *buyer* dikelola oleh *vendor* [5]. Ada dua macam metode yang umumnya didefinisikan sebagai VMI. Metode pertama adalah VMI dalam konsinyasi atau biasa disebut *supplier owned inventory* dimana pembayaran barang hanya dilakukan setelah barang tersebut terjual. Metode yang digunakan pada penelitian Darwish [3] adalah metode kedua dimana pembayaran barang dilakukan segera setelah barang sampai, sehingga *retailer* masih menanggung biaya simpan.

Model Darwish hanya memperhitungkan 1 (satu) jenis produk [3]. Dalam kondisi riil di industri, sebuah pabrik jarang sekali hanya memproduksi 1 (satu) jenis produk saja tanpa ada variasi produk. Hal ini ditunjang oleh perkembangan teknologi pada saat ini yang memungkinkan sebuah mesin dapat memproduksi lebih dari satu jenis barang tanpa diperlukan suatu set up yang rumit. Selain itu dewasa ini, konsumen menuntut adanya diferensiasi produk sehingga pabrik dituntut untuk memproduksi lebih dari satu jenis barang. Model Chen menggambarkan koordinasi antara satu pabrik dengan satu distributor [2], sedangkan model Darwish menggambarkan model koordinasi antara satu distributor dengan beberapa *retailer* [3]. Pada kenyataannya, kelancaran aliran produk harus terjamin dari pabrik, distributor, dan *retailer* sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah model integrasi sistem produksi dan distribusi pada rantai pasok tiga eselon multi produk dengan penerapan strategi VMI antara distributor dan multi *retailer*. Model usulan tersebut juga mempertimbangkan permintaan probabilistik.

2. Kajian literatur

Perancangan model usulan dilakukan dengan dasar dari beberapa literatur yang telah ada yaitu model VMI, model *joint replenishment* dan *channel coordination* serta model sistem persediaan untuk permintaan yang bersifat probabilistik.

2.1 Model VMI

Vendor Managed Inventory (VMI) adalah sebuah koordinasi manajemen persediaan dimana *vendor* (penjual) akan mengatur tingkat persediaan dari *buyer* (pembeli). *Vendor* bertanggung jawab untuk melakukan keputusan pemesanan (*replenishment*) dari *buyer*. Ada dua metode yang dikenal dalam VMI, metode yang pertama adalah VMI dalam konsinyasi atau biasa disebut *supplier owned inventory* dimana pembayaran barang hanya dilakukan setelah barang tersebut terjual atau terpakai. Metode yang kedua adalah metode dimana pembayaran barang dilakukan segera setelah barang sampai di *retailer* sehingga *retailer* menanggung biaya simpan [3]. Model acuan VMI diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Darwish [3]. Model VMI yang dikembangkan oleh Darwish menggunakan metode VMI dimana pembayaran barang akan dilakukan segera setelah barang sampai di *buyer* sehingga *buyer* menanggung biaya simpan [3]. Pada konsep VMI ini, *vendor* cenderung mengambil keuntungan dengan memindahkan penyimpanan pada *buyer* untuk mengurangi biaya simpan dan biaya kirim, sedangkan *buyer* terpaksa menanggung biaya simpan yang semakin besar. Solusi dari masalah ini adalah adanya perjanjian dalam batas kuantitas pengiriman yang disetujui baik oleh *vendor* maupun oleh *buyer*. Apabila *vendor* mengirim barang lebih dari batas kuantitas pengiriman, *vendor* harus membayar sejumlah penalti yang muncul karena adanya biaya penyimpanan maupun penanganan ekstra. Model VMI ini mempertimbangkan *buyer* yang lebih dari satu atau *multi buyer*.

2.2 Model *joint replenishment* dan *channel coordination*

Penelitian ini menggunakan konsep *Joint Replenishment* dan *Channel Coordination* pada hubungan antara pabrik dan distributor. *Joint replenishment* adalah sebuah strategi pemesanan multi produk dimana perhitungan kuantitas dan periode pemesanan satu produk mempengaruhi produk lainnya. Menurut Khouja dengan adanya model *joint replenishment*, *buyer* dapat menghemat biaya order mayor [6]. Semakin besar biaya order mayor, semakin besar pula penghematan yang dapat diperoleh dengan menerapkan *joint replenishment*.

2.3 Model sistem persediaan untuk permintaan yang bersifat probabilistik

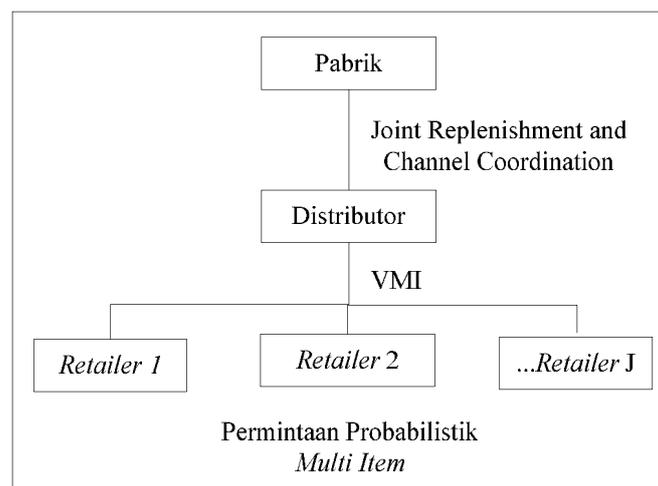
Permintaan yang bersifat deterministik membuat perusahaan dapat menghitung dengan pasti seberapa banyak persediaan yang harus disediakan. Pada kenyataannya, permintaan dari konsumen seringkali tidak pasti atau bersifat probabilistik [7]. Permintaan konsumen yang bersifat probabilistik mengakibatkan perusahaan harus memperhitungkan besar persediaan dengan baik agar persediaan tidak terlalu banyak ataupun tidak terlalu sedikit. Permintaan yang bersifat probabilistik menimbulkan resiko kekurangan persediaan. Dengan adanya resiko kekurangan persediaan, perusahaan harus menyediakan sejumlah *safety stock* untuk menanggulangi resiko kekurangan persediaan.

3. Pengembangan Model

Pada model yang dikembangkan di penelitian ini, terdapat beberapa asumsi sebagai berikut:

- Produk merupakan jenis produk industri yang diproduksi dengan 1 (satu) fasilitas produksi.
- Semua jenis produk berasal dari 1 (satu) jenis material (misalnya: misalnya produk rumah tangga yang terbuat dari plastik, aluminium, dan sebagainya).
- Kapasitas dari supplier material adalah tidak terhingga.
- *Lead time* pemesanan material dari pabrik ke supplier sangat kecil sehingga dianggap nol.
- *Lead time* pemesanan produk dari distributor ke pabrik dan dari retailer ke distributor = 1 hari.
- 1 tahun adalah 360 hari.

Gambar model usulan yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Usulan

Pada model usulan, permintaan yang dipertimbangkan adalah permintaan yang bersifat probabilistik sehingga dibutuhkan data permintaan rata-rata selama interval pemesanan dan *leadtime* dan data standar deviasi permintaan selama interval pemesanan dan *leadtime*.

Notasi:

Notasi yang digunakan pada pemodelan terdiri dari indeks, notasi untuk parameter, notasi untuk variabel keputusan dan notasi variabel yang digunakan untuk fungsi objektif. Notasi untuk indeks yang digunakan pada model adalah:

- i = indeks produk
- j = indeks *retailer*

Notasi pada model yang merupakan parameter adalah:

- k = banyak jenis produk
- J = jumlah *retailer*
- h_i^f = biaya simpan produk i pada pabrik (Rp/lusin/tahun)
- h_i^d = biaya simpan produk i pada distributor (Rp/lusin/tahun)

- h_{ij} = biaya simpan produk i pada *retailer* j (Rp/lusin/tahun)
- hr = biaya simpan material pada pabrik (Rp/kg material/tahun)
- \prod_{ij} = biaya simpan pada gudang tambahan untuk produk i pada *retailer* j (Rp/lusin/tahun)
- C = biaya pesan *retailer* yang terjadi tiap kali pemesanan produk (Rp/pesan)
- c_i = biaya pesan *retailer* yang terjadi untuk setiap penambahan pemesanan produk i (Rp)
- A = biaya pesan distributor yang terjadi tiap kali pemesanan produk (Rp/pesan)
- a_i = biaya pesan distributor yang terjadi untuk setiap penambahan pemesanan produk i (Rp/pesan)
- B = biaya *setup* pabrik yang terjadi tiap kali terjadi proses produksi (Rp/setup)
- b_i = biaya *setup* pabrik yang terjadi untuk setiap proses produksi produk i (Rp/setup)
- sr = biaya pesan pabrik untuk memesan material (Rp/pesan)
- ρ_i = laju produksi untuk produk i (lusin/tahun)
- D_i = permintaan produk i (lusin/tahun) $D_i = \sum_{j=1}^J D_{ij}$
- D_{ij} = permintaan produk i pada *retailer* j (lusin/tahun)
- L_{ij} = batas kapasitas gudang untuk persediaan produk i pada *retailer* j (lusin)
- u_i = laju pemakaian material untuk produk i (kg/lusin)
- *leadtime* = *leadtime* pengiriman dari pabrik ke distributor dan dari distributor ke *retailer* selama 1 hari

Notasi yang merupakan parameter tambahan pada model probabilistik adalah:

- \overline{D}_i = rata-rata permintaan produk i pada distributor selama T (interval pemesanan) dan *leadtime* (lusin)
- D_i^D = permintaan produk i (bersifat probabilistik) pada distributor selama T (interval pemesanan) dan *leadtime* (lusin)
- σ_{D_i} = standar deviasi permintaan produk i pada distributor selama T (interval pemesanan) dan *leadtime* (lusin)
- \overline{D}_{ij} = rata-rata permintaan produk i pada *retailer* j selama Tr (interval pemesanan) dan *leadtime* (lusin)
- D_{ij}^R = permintaan produk i (bersifat probabilistik) pada *retailer* j selama Tr (interval pemesanan) dan *leadtime* (lusin)
- $\sigma_{D_{ij}}$ = standar deviasi permintaan produk i pada *retailer* j selama Tr (interval pemesanan) dan *leadtime* (lusin)
- OS_i^D = biaya *safety stock* produk i pada distributor (Rp/lusin)
- US_i^D = biaya *stockout* produk i pada distributor (Rp/lusin)
- TOS_i^D = total biaya *safety stock* produk i pada distributor (Rp/tahun)
- TUS_i^D = total biaya *stockout* produk i pada distributor (Rp/tahun)
- OS_{ij}^R = biaya *safety stock* produk i pada *retailer* j (Rp/lusin)
- US_{ij}^R = biaya *stockout* produk i pada *retailer* j (Rp/lusin)
- TOS_{ij}^R = total biaya *safety stock* produk i pada *retailer* j (Rp/tahun)
- TUS_{ij}^R = total biaya *stockout* produk i pada *retailer* j (Rp/tahun)

Notasi pada model yang merupakan variabel keputusan adalah:

- T_i = interval pemesanan dari pabrik ke distributor untuk produk i (tahun)
- T = interval pemesanan dari pabrik ke distributor untuk semua produk (tahun)
- Tr = interval pemesanan dari distributor ke semua *retailer* (tahun)

- IM_{ij}^R = persediaan maksimum produk i pada *retailer* j (lusin)
- IM_i^D = persediaan maksimum produk i pada distributor (lusin)
- S = sekumpulan *retailer* yang menerima pengiriman produk melebihi kapasitas gudangnya
- r = jumlah elemen yang ada di dalam S
- Φ = S yang kosong
- Ω = S yang berisi semua *retailer*
- n = bilangan kelipatan dari kuantitas pemesanan semua produk untuk mendapatkan kuantitas produk yang harus diproduksi oleh pabrik
- m = bilangan kelipatan dari kuantitas produksi produk mendapatkan kuantitas material yang harus dipesan pabrik
- w = jumlah pengiriman yang diterima oleh *retailer*
- Q_i = kuantitas pemesanan untuk produk i dari distributor ke pabrik (lusin/pesan)
- q_{ij} = kuantitas pemesanan untuk produk i dari *retailer* j ke distributor (lusin/pesan)

Notasi pada model yang merupakan variabel yang digunakan untuk fungsi objektif adalah:

- TC_r = total biaya material yang ditanggung pabrik (Rp/tahun)
- TC_i^f = total biaya yang ditanggung pabrik untuk produk i (Rp/tahun)
- TC_{ij} = total biaya yang ditanggung *retailer* j untuk produk i (Rp/tahun)
- TC_R = total biaya yang ditanggung semua *retailer* (Rp /tahun)
- TC_D = total biaya yang ditanggung distributor (Rp /tahun)
- TC_M = total biaya yang ditanggung pabrik (Rp /tahun)
- TC_C = total biaya yang ditanggung rantai pasok (Rp /tahun)

Fungsi tujuan dari model usulan adalah total biaya yang ditanggung oleh pabrik, distributor dan *retailer*. Total biaya yang harus ditanggung oleh pabrik terdiri dari biaya *set-up* mayor, biaya *set-up* minor, biaya pesan material, biaya simpan material dan biaya simpan produk. Formula dari total biaya yang harus ditanggung oleh pabrik adalah:

$$\begin{aligned}
 TC_M &= \sum_{i=1}^k [TC_i^f(n, T) + TC_r(n, m, T)] & (1) \\
 &= \frac{B}{nT} + \frac{sr}{m.n.T} + \sum_{i=1}^k y_i, \text{ dimana} \\
 y_i &= \frac{b_i}{nT} + \frac{h_i^f \cdot D_i \cdot T}{2} \left(n \left(1 + \frac{D_i}{\rho_i} \right) - 1 \right) + \frac{u_i \cdot hr \cdot n \cdot T}{2} \left(\frac{D_i^2}{\rho_i} + (m-1)D_i \right)
 \end{aligned}$$

Total biaya yang harus ditanggung oleh distributor terdiri dari biaya order mayor, biaya order minor, biaya simpan produk, biaya penalti, biaya *safety stock* dan biaya *stockout*. Formula dari total biaya yang harus ditanggung oleh distributor adalah:

$$\begin{aligned}
 TC_D &= \frac{(A + a_1)}{w \cdot Tr} + \frac{(w-1)D_i \cdot h_i^d \cdot Tr}{2} + \frac{1}{2 \cdot Tr} \sum_{j \in S} \frac{\Pi_j}{D_j} (D_j Tr - L_j)^2 \\
 &+ OS_i \int_0^{IM_i^D} (IM_i^D - D_i^D) \cdot f(D_i^D) dD_i^D + \frac{US_i}{Tr} \int_{M_{ij}^R}^{\infty} (D_i^D - IM_i^D) \cdot f(D_i^D) dD_i^D & (2)
 \end{aligned}$$

Total biaya yang harus ditanggung oleh *retailer* terdiri dari biaya order mayor, biaya order minor, biaya simpan produk, biaya *safety stock*, dan biaya *stockout*. Formula dari total biaya yang harus ditanggung oleh *retailer* adalah:

$$\begin{aligned}
 TC_R = & \sum_{j=1}^J \frac{C_j}{Tr} + \left(\sum_{i=1}^k \frac{c_{ij}}{Tr} + \frac{h_{ij} \cdot D_{ij} \cdot Tr}{2} \right) + OS_{ij} \int_0^{IM_{ij}^R} (IM_{ij}^R - D_{ij}^R) \cdot f(D_{ij}^R) df D_{ij}^R \\
 & + \frac{US_{ij}}{Tr} \int_{M_{ij}^R}^{\infty} (D_{ij}^R - IM_{ij}^R) \cdot f(D_{ij}^R) df D_{ij}^R
 \end{aligned} \tag{3}$$

Selain dari fungsi tujuan total biaya rantai pasok, terdapat beberapa batasan model yang harus dipenuhi yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Subject to: } m, n, IM_{ij}^R, IM_i^D &= \text{integer} \\
 m, n &\geq 1
 \end{aligned}$$

4. Hasil dan pembahasan

Contoh numerik diperlukan dalam membantu pengembangan dan analisis model. Data numerik pada penelitian ini diambil dan dikembangkan dari data pada penelitian yang dilakukan oleh Berliana yang disesuaikan dan dikembangkan agar memenuhi asumsi-asumsi yang telah dijelaskan sebelumnya. Data yang digunakan tersebut merupakan data beberapa produk rumah tangga yang terbuat dari plastik PP (Poly Propylene) yaitu toples plastik, ember dengan dua ukuran yang berbeda, gantungan baju, dan piring plastik dengan dua ukuran diameter yang berbeda.

Penyelesaian model usulan dilakukan secara *sequential* dimana tahap pertama yang perlu dilakukan adalah menetapkan nilai interval pemesanan dari *retailer* ke distributor (*Tr*) dan total biaya yang ditanggung oleh distributor dan *retailer* yang belum memperhitungkan biaya *safety stock* dan *stockout* dengan pendekatan melalui model deterministik. Pada model deterministik, penyelesaian perhitungan pada hubungan antara distributor dan *retailer* dilakukan dengan perhitungan yang mengacu pada model VMI Darwish [3]. Tahap kedua dari penyelesaian model usulan ini adalah menetapkan nilai keputusan *m* (kelipatan kuantitas material yang harus dipesan pabrik ke *supplier* dari kebutuhan sekali produksi), *n* (jumlah pengiriman yang diterima distributor setiap pabrik sekali produksi), persediaan maksimum pada distributor dan *retailer* dan nilai fungsi obyektif yaitu total biaya yang harus ditanggung oleh rantai pasok secara keseluruhan. Untuk lebih jelasnya, demikian langkah-langkah penyelesaian model usulan:

1. Tentukan nilai dari *Tr* (interval pemesanan dari *retailer* ke distributor) dan *w* (jumlah pengiriman yang diterima oleh *retailer*) dengan pendekatan melalui model deterministik yaitu menyelesaikan program non linier berikut ini:

$$\begin{aligned}
 TC_{D+R} = & \frac{(A + a_1)}{w \cdot Tr} + \frac{(w-1)D_i \cdot h_i^d \cdot Tr}{2} + \frac{1}{2 \cdot Tr} \sum_{j \in S} \frac{\Pi_j}{D_j} (D_j Tr - L_j) \\
 & + \sum_{j=1}^J \frac{C_j}{Tr} + \left(\sum_{i=1}^k \frac{c_{ij}}{Tr} + \frac{h_{ij} \cdot D_{ij} \cdot Tr}{2} \right)^2
 \end{aligned} \tag{4}$$

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penyelesaian program non linier mengacu pada model VMI Darwish [3]. Dari perhitungan didapatkan nilai total biaya yang ditanggung oleh distributor dan *retailer* tanpa memperhitungkan *safety stock* dan *stockout* adalah Rp 183.774.549,38/tahun dimana interval pemesanan optimal dari *retailer* ke distributor sebesar 0,08756 tahun dan jumlah pengiriman yang diterima oleh *retailer* adalah 1 kali.

2. Tentukan nilai dari *T* (interval pemesanan dari distributor ke pabrik) yang dapat diperoleh dari nilai *Tr* (interval pemesanan dari *retailer* ke distributor) dan *w* (jumlah pengiriman yang diterima oleh *retailer*) sebagai berikut:

$$T = w \times Tr = 1 \times 0,08756 = 0,08756 \text{ tahun}$$

3. Tentukan nilai bilangan kelipatan dari kuantitas material kebutuhan produksi untuk pemesanan ke *supplier* (m), jumlah pengiriman yang diterima oleh distributor dalam sekali produksi (n), tingkat persediaan maksimum pada distributor (IM_i^D), tingkat persediaan maksimum pada *retailer* (IM_{ij}^R) dengan menyelesaikan program linier sebagai berikut:

$$\text{Fungsi Objektif: Min } TC_C = TC_M + TC_D + TC_R$$

TC_M adalah total biaya yang ditanggung pabrik pada formula (1), TC_D adalah total biaya yang ditanggung distributor pada formula (2) dan TC_R adalah total biaya yang ditanggung *retailer* pada formula (3).

$$\text{Subject to: } m, n, IM_{ij}^R, IM_i^D = \text{integer}$$

$$m, n \geq 1$$

Batasan dari penyelesaian ini adalah nilai variabel keputusan m , n dan tingkat persediaan maksimum pada distributor dan *retailer* merupakan bilangan bulat. Selain itu nilai dari m dan n harus lebih besar sama dengan 1.

4. Hasil akhir yang didapatkan dari penyelesaian program linier yang dibantu dengan piranti lunak *Microsoft Excel* yaitu *Solver* adalah:
- $m = 1$
Kuantitas material yang harus dipesan pabrik ke *supplier* adalah sebanyak 1 kali lipat dari jumlah kebutuhan sekali produksi.
 - $n = 1$
Jumlah pengiriman yang diterima distributor setiap sekali produksi adalah 1 kali.
 - $TC_C = \text{Rp } 302.474.164,63/\text{tahun}$
Besarnya biaya yang harus ditanggung oleh pabrik, distributor, dan *retailer* adalah sebesar Rp 302.474.164,63/tahun.
 - Hasil tingkat persediaan maksimum pada distributor (IM_i^D) dan *retailer* (IM_{ij}^R) dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 1. Hasil perhitungan persediaan maksimum distributor dan *retailer* pada model integrasi 2

PRODUK	IM_i^D (lusin)	IM_{i1}^R (lusin)	IM_{i2}^R (lusin)	IM_{i3}^R (lusin)	IM_{i4}^R (lusin)	IM_{i5}^R (lusin)	IM_{i6}^R (lusin)	IM_{i7}^R (lusin)	IM_{i8}^R (lusin)
1	3.755	53	823	425	661	228	1.284	621	178
2	3.089	112	317	236	398	221	1.387	634	121
3	3.003	120	227	214	662	221	1.110	593	224
4	11.021	785	2.371	1.520	1.940	740	2.703	1.793	813
5	6.577	110	1.194	693	1.562	356	1.902	1.412	328
6	7.482	511	1.981	1.082	947	527	1.793	1.336	360

5. Analisis sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah besar suatu faktor dalam Model Integrasi 2 untuk mengetahui pengaruh perubahan tersebut terhadap variabel keputusan maupun nilai dari fungsi objektif. Ada 3 faktor yang akan dirubah dalam analisis sensitivitas ini yaitu: faktor standar deviasi permintaan, faktor utilisasi produksi dan faktor biaya persediaan pabrik, distributor dan *retailer*.

5.1 Analisis sensitivitas pada standar deviasi permintaan

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah besar standar deviasi menjadi 0,5 kali, 2 kali, 3 kali, dan 4 kali dari standar deviasi awal. Pada hasil analisis sensitivitas dilakukan pemodelan regresi linier yang hasilnya adalah:

$$\% \text{ Perubahan } TC_C = 0,2713 \times (\text{Perubahan standar deviasi}) - 02714 \quad (5)$$

Rentang perubahan standar deviasi sebesar 0,5 hingga 4 kali lipat dari standar deviasi awal menyebabkan perubahan total biaya rantai pasok sebesar -10,86% hingga 65,09%.

5.2 Analisis sensitivitas pada utilisasi produksi

Utilisasi produksi yang dimaksudkan disini adalah rasio permintaan dengan laju produksi. Perubahan yang dilakukan pada utilisasi produksi pada analisis sensitivitas ini hanya akan mengubah besar dari kapasitas produksi dan tidak akan dilakukan perubahan pada besar permintaan konsumen. Analisis sensitivitas dilakukan dengan merubah utilisasi produksi menjadi 15% lebih kecil, 30% lebih kecil, 15% lebih besar dan 30% lebih besar dari utilisasi produksi awal. Pada hasil analisis sensitivitas dilakukan pemodelan regresi linier yang hasilnya adalah:

$$\begin{aligned} \% \text{ Perubahan } TC_C = & -0.0222 \times (\text{Perubahan utilisasi produksi})^2 \\ & + 0.1547 \times (\text{Perubahan utilisasi produksi}) + 0.0024 \end{aligned} \quad (6)$$

Rentang perubahan utilisasi produksi sebesar 15% dan 30% lebih kecil dan lebih besar dari utilisasi produksi awal menyebabkan perubahan total biaya rantai pasok sebesar -4,18% hingga 4,19%. Dengan pemodelan yang telah dilakukan, didapatkan bahwa kenaikan TC_C terbesar akan dicapai saat utilisasi produksi berubah sebesar 351,6% yaitu sebesar 27,4%.

5.3 Analisis sensitivitas pada biaya persediaan

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah biaya persediaan menjadi 80%, 90%, 110%, 130% dan 150% dari biaya persediaan awal. Pada hasil analisis sensitivitas ini dilakukan pemodelan regresi linier yang hasilnya adalah:

$$\begin{aligned} \% \text{ Perubahan } TC_C = & -0.0911 \times (\text{Perubahan biaya persediaan})^2 \\ & + 0.5957 \times (\text{Perubahan biaya persediaan}) - 0.5049 \end{aligned} \quad (7)$$

Rentang perubahan biaya persediaan sebesar 0,8 hingga 1,5 kali lipat dari biaya persediaan awal menyebabkan perubahan total biaya rantai pasok sebesar -8,27% hingga 17,42%. Dari hasil pemodelan didapatkan bahwa kenaikan TC_C terbesar dicapai pada saat terjadi perubahan biaya persediaan sebesar 3,27 kali lipat dari biaya persediaan awal yaitu sebesar 46,89%. Selain dari perubahan pada total biaya rantai pasok, perubahan biaya persediaan menyebabkan perubahan interval pemesanan optimal. Pada hasil analisis sensitivitas dilakukan pemodelan regresi linier yang hasilnya adalah:

$$\begin{aligned} \% \text{ Perubahan } T \text{ atau } Tr = & 0,2893 \times (\text{Perubahan biaya persediaan})^2 \\ & - 1,0912(\text{Perubahan biaya persediaan}) + 0,8038 \end{aligned} \quad (8)$$

Rentang perubahan biaya persediaan sebesar 0,8 hingga 1,5 kali lipat dari biaya persediaan awal menyebabkan perubahan interval pemesanan optimal sebesar 11,80% hingga -18,35%. Dari hasil pemodelan didapatkan bahwa penurunan interval pemesanan optimal terbesar dicapai saat terjadi perubahan biaya persediaan sebesar 1,89 kali lipat yaitu sebesar -22,52%.

6. Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan model integrasi sistem produksi dan distribusi multi produk dengan menerapkan strategi VMI pada hubungan antara distributor dan *retailer* dan prinsip *joint replenishment and channel coordination* pada hubungan antara pabrik dan distributor. Model yang dikembangkan telah mempertimbangkan beberapa jenis produk dan permintaan dari konsumen yang bersifat probabilistik.

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah faktor standar deviasi permintaan, utilisasi produksi, dan biaya persediaan. Rentang perubahan standar deviasi sebesar 0,5 hingga 4 kali lipat dari standar deviasi awal menyebabkan perubahan total biaya rantai pasok sebesar -10,86% hingga 65,09%. Rentang perubahan utilisasi produksi sebesar 15% dan 30% lebih kecil dan lebih besar dari utilisasi produksi awal menyebabkan perubahan total biaya rantai pasok sebesar -4,18% hingga 4,19%.

Rentang perubahan biaya persediaan sebesar 0,8 hingga 1,5 kali lipat dari biaya persediaan awal menyebabkan perubahan total biaya rantai pasok sebesar -8,27% hingga 17,42% dan perubahan interval pemesanan optimal sebesar 11,80% hingga -18,35%.

7. Daftar rujukan

- [1] Simchi-Levi, David., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. (2008), *Designing and Managing The Supply Chain (Concepts, Strategies, and Case Studies)*, Third Edition, McGraw-Hill Irwin, New York.
- [2] Chen, T., Chen, J. (2005), "Optimizing supply chain collaboration based on joint replenishment and channel coordination", *Transportation Research Part E*, Vol. 41, pp. 261-285.
- [3] Darwish, M. A., Odah, O. M. (2010), "Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains", *European Journal of Operational Research*, Vol. 204, pp. 473-484.
- [4] Van der Vlist, P., Kuik, R., Verheijen, B. (2007), "Note on supply chain integration in vendor-managed inventory", *Decision Support System*, Vol. 44, pp. 360-365.
- [5] Yu, H., Zeng, A. Z., Zhao, L. 2009. Analyzing The Evolutionary Stability of The Vendor-Managed Inventory Supply Chains. *Computers & Industrial Engineering* , Vol. 56, pp. 274-282.
- [6] Khouja, M., Goyal, S. (2008), "A review of the joint replenishment problem literature: 1989–2005", *European Journal of Operational Research*, Vol. 186, pp. 1-16.
- [7] Chopra, Sunil. (2007), *Supply Chain Management*, Third Edition, Pearson Education International, New Jersey.
- [8] Berliana, M. N. (2005), *Perencanaan Produksi dan Pengendalian Persediaan Bahan Baku Plastik di PT. X Gresik*, Tugas Akhir Universitas Surabaya, Surabaya.

8. Lampiran

Keterangan dan indeks dari masing-masing produk dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Nama dan indeks produk

INDEKS	NAMA
1	Toples plastik ukuran 10 liter
2	Ember USA 20 inch
3	Ember USA 26 inch
4	Gantungan baju
5	Pring plastik diameter 8 inch
6	Piring plastik diameter 9 inch

Data numerik pada pabrik, distributor, dan *retailer* yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3 hingga Tabel 12.

Tabel 3. Data pabrik

PABRIK	SATUAN	ITEM					
		1	2	3	4	5	6
Laju Produksi (P_i)	lusin/tahun	45.000	40.000	40.000	200.000	75.000	80.000
Biaya Setup Mayor (B)	Rp/setup	450.000					
Biaya Setup Minor (b_i)	Rp/setup	50.000	70.000	80.000	50.000	50.000	50.000
Biaya Pesan Material (sr)	Rp/pesan	19.500					
Biaya Simpan Material (hr)	Rp/kg/tahun	2.340					
Biaya Simpan Produk (h_i')	Rp/lusin/thn	5400	4800	6000	780	480	600
Laju Pemakaian (u_i)	kg/lusin	0,328	1,527	1,667	0,0438	0,0345	0,0434

Tabel 4. Data distributor

DISTRIBUTOR	SATUAN	ITEM					
		1	2	3	4	5	6
Permintaan (D_i)	Lusin/thn	37.500	30.000	30.000	110.000	65.000	75.000
Biaya Order Mayor (A)	Rp/pesan	1.000.000					
Biaya Order Minor (a_i)	Rp/pesan	100.000	120.000	150.000	100.000	100.000	100.000
Biaya Simpan (h_i^d)	Rp/lusin/thn	12.000	14.000	16.000	1.300	900	1.100
Harga Jual	Rp/lusin	78.000	90.000	100.000	8.500	6.000	7.250

Tabel 5. Data retailer 1

RETAILER 1	SATUAN	PRODUK					
		1	2	3	4	5	6
Permintaan (D_{i1})	lusin	500	1000	1000	7000	1000	4500
Kapasitas per pengiriman (L_{i1})	m ³	33,4205					
Biaya Simpan (h_{i1})	Rp/lusin/tahun	15.600	18.000	20.000	1.700	1.200	1.450
Biaya Order Mayor (C)	Rp/pesan	455000					
Biaya Order Minor (c_i)	Rp/pesan	55000	75000	85000	55000	55000	55000

Tabel 6. Data retailer 2

RETAILER 2	SATUAN	PRODUK					
		1	2	3	4	5	6
Permintaan (D_{i2})	Lusin	7000	3000	2000	20000	10000	18000
Kapasitas per pengiriman (L_{i2})	m ³	48,9161					
Biaya Simpan (h_{i2})	Rp/lusin/tahun	15.600	18.000	20.000	1.700	1.200	1.450
Biaya Order Mayor (C)	Rp/pesan	450000					
Biaya Order Minor (c_i)	Rp/pesan	50000	70000	80000	50000	50000	50000

Tabel 7. Data retailer 3

RETAILER 3	SATUAN	PRODUK					
		1	2	3	4	5	6
Permintaan (D_{i3})	Lusin	3500	2000	2000	13000	6000	9500
Kapasitas per pengiriman (L_{i3})	m ³	37,8759					
Biaya Simpan (h_{i3})	Rp/lusin/tahun	15.600	18.000	20.000	1.700	1.200	1.450
Biaya Order Mayor (C)	Rp/pesan	452500					
Biaya Order Minor (c_i)	Rp/pesan	52500	72500	82500	52500	52500	52500

Tabel 8. Data retailer 4

RETAILER 4	SATUAN	PRODUK					
		1	2	3	4	5	6
Permintaan (D_{i4})	Lusin	5500	3500	6000	16500	14000	8500
Kapasitas per pengiriman (L_{i4})	m ³	89,3982					
Biaya Simpan (h_{i4})	Rp/lusin/tahun	15.600	18.000	20.000	1.700	1.200	1.450
Biaya Order Mayor (C)	Rp/pesan	400000					
Biaya Order Minor (c_i)	Rp/pesan	45000	65000	75000	45000	45000	45000

Tabel 9. Data retailer 5

RETAILER 5	SATUAN	PRODUK					
		1	2	3	4	5	6
Permintaan (D_{i5})	Lusin	2000	2000	2000	6500	3000	4500
Kapasitas per pengiriman (L_{i5})	m ³	49,2332					
Biaya Simpan (h_{i5})	Rp/lusin/tahun	15.600	18.000	20.000	1.700	1.200	1.450
Biaya Order Mayor (C)	Rp/pesan	453000					
Biaya Order Minor (c_i)	Rp/pesan	53000	73000	83000	53000	53000	53000

Tabel 10. Data *retailer 6*

RETAILER 6	SATUAN	PRODUK					
		1	2	3	4	5	6
Permintaan (D_{i6})	lusin	12000	12000	10000	24000	16000	15000
Kapasitas per pengiriman (L_{i6})	m ³	171,8415					
Biaya Simpan (h_{i6})	Rp/lusin/tahun	15.600	18.000	20.000	1.700	1.200	1.450
Biaya Order Mayor (C)	Rp/pesan	448000					
Biaya Order Minor (c_i)	Rp/pesan	48000	68000	78000	48000	48000	48000

Tabel 11. Data *retailer 7*

RETAILER 7	SATUAN	PRODUK					
		1	2	3	4	5	6
Permintaan (D_{i7})	lusin	5500	5500	5000	16000	12000	12000
Kapasitas per pengiriman (L_{i7})	m ³	83,1007					
Biaya Simpan (h_{i7})	Rp/lusin/tahun	15.600	18.000	20.000	1.700	1.200	1.450
Biaya Order Mayor (C)	Rp/pesan	447500					
Biaya Order Minor (c_i)	Rp/pesan	47500	67500	77500	47500	47500	47500

Tabel 12. Data *retailer 8*

RETAILER 8	SATUAN	PRODUK					
		1	2	3	4	5	6
Permintaan (D_{i8})	lusin	1500	1000	2000	7000	3000	3000
Kapasitas per pengiriman (L_{i8})	m ³	64,9410					
Biaya Simpan (h_{i8})	Rp/lusin/tahun	15.600	18.000	20.000	1.700	1.200	1.450
Biaya Order Mayor (C)	Rp/pesan	452000					
Biaya Order Minor (c_i)	Rp/pesan	52000	72000	82000	52000	52000	52000

Data rata-rata permintaan dan standar deviasi pada setiap retailer dan distributor untuk produk 1 hingga produk 6 selama interval pemesanan dan *leadtime* adalah:

Tabel 13. Data permintaan probabilistik *retailer* untuk produk 1 hingga 3

RETAILER	PRODUK 1		PRODUK 2		PRODUK 3	
	<i>Demand</i> (\bar{D}_{1j}) lusin	Standar Deviasi (σ_{D1j}) lusin	<i>Demand</i> (\bar{D}_{2j}) lusin	Standar Deviasi (σ_{D2j}) lusin	<i>Demand</i> (\bar{D}_{3j}) (lusin)	Standar Deviasi (σ_{D3j}) lusin
1	45,171	4,619	90,342	13,123	90,342	17,664
2	632,391	110,660	271,025	28,000	180,683	27,597
3	316,196	61,318	180,683	32,038	180,683	18,745
4	496,879	92,650	316,196	47,544	542,050	68,978
5	180,683	26,513	180,683	24,508	180,683	24,048
6	1084,099	116,424	1084,099	184,554	903,416	120,568
7	496,879	71,755	496,879	76,947	451,708	82,167
8	135,512	24,609	90,342	17,742	180,683	25,976

Tabel 14. Data permintaan probabilistik *retailer* untuk produk 4 hingga 6

RETAILER	PRODUK 4		PRODUK 5		PRODUK 6	
	<i>Demand</i> (\bar{D}_{4j}) lusin	Standar Deviasi (σ_{D4j}) lusin	<i>Demand</i> (\bar{D}_{5j}) lusin	Standar Deviasi (σ_{D5j}) lusin	<i>Demand</i> (\bar{D}_{6j}) lusin	Standar Deviasi (σ_{D6j}) lusin
1	632,391	94,127	90,342	12,876	406,537	51,824
2	1806,832	326,322	903,416	162,625	1626,149	205,372
3	1174,441	198,223	542,050	91,287	858,245	128,083
4	1490,636	255,415	1264,782	174,413	767,904	99,605
5	587,220	92,588	271,025	42,345	406,537	65,509
6	2168,198	309,367	1445,465	269,519	1355,124	253,087
7	1445,465	202,124	1084,099	197,577	1084,099	143,189
8	632,391	102,944	271,025	34,019	271,025	45,231

Tabel 15. Data permintaan probabilistik distributor

PRODUK	<i>Demand</i> (\bar{D}_i) lusin	Standar Deviasi (σ_{D_i}) lusin
1	3387,809	211,240
2	2710,248	212,460
3	2710,248	169,482
4	9937,575	612,867
5	5872,203	424,257
6	6775,619	402,596